

*Joanna Młodziejewska¹, Magdalena Woźniak¹, Elżbieta Holderna-Kędzia²,
Lucyna Mrówczyńska³, Izabela Ratajczak¹

Aktywność przeciwdrobnoustrojowa i przeciwrodnikowa miodu manuka oraz jego składnika – metyloglioksalu

Antimicrobial and antioxidant activity of manuka honey and its component – methylglyoxal

¹Katedra Chemii, Wydział Leśny i Technologii Drewna, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Kierownik Katedry: prof. dr hab. inż. Izabela Ratajczak

²Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu, Państwowy Instytut Badawczy
Dyrektor Instytutu: dr Katarzyna Wielgusz

³Zakład Biologii Komórki, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Kierownik Zakładu: dr hab. Lucyna Mrówczyńska, prof. UAM

SUMMARY

Introduction. Manuka honey, due to its biological properties, is attracting considerable interest from both scientists and consumers. It is produced by bees from the nectar of the Manuka tea tree (*Leptospermum scoparium*), which grows in New Zealand and Australia.

Aim. The aim of the study was to determine the antimicrobial and antioxidant activity of manuka honey and its bioactive component – methylglyoxal (MGO).

Material and methods. Manuka honeys with MGO ratings of 100+ and 400+ and an aqueous solution of their bioactive component, methylglyoxal (MGO), were used in the research. The study assessed the antibacterial and antifungal activities of the honeys and MGO, and the results were reported as minimum inhibitory concentrations (MICs), which were then converted to antibiotic units (AU/g). The antiradical activity of the honeys and methylglyoxal was also compared.

Results. The tested manuka honeys showed varying antibacterial activity against Gram-positive and Gram-negative bacterial strains, with MGO 400+ honey demonstrating higher activity, particularly against Gram-negative bacteria. MGO 400+ manuka honey also demonstrated slightly higher antifungal activity compared to honey with lower MGO content. The antibacterial and antifungal activity of methylglyoxal was significantly higher compared to that of manuka honeys. The tested honeys and methylglyoxal exhibited moderate antiradical activity.

Conclusions. The obtained results indicate that manuka honeys exhibit antibacterial and antifungal activity, and methylglyoxal is one of the factors responsible for their overall biological activity. The MGO content of manuka honey affects its antibacterial, antifungal, and antiradical activity.

Keywords: manuka honey, antimicrobial activity, antiradical activity, methylglyoxal

STRESZCZENIE

Wstęp. Miód manuka ze względu na swoje właściwości biologiczne cieszy się dużym zainteresowaniem zarówno wśród naukowców, jak i konsumentów. Jest on wytwarzany przez pszczoły z nektaru krzewu manuka (*Leptospermum scoparium*) rosnącego na terenach Nowej Zelandii i Australii.

Cel pracy. Celem pracy było określenie aktywności przeciwdrobnoustrojowej i przeciwrodnikowej miodu manuka oraz jego bioaktywnego składnika – metyloglioksalu.

Materiał i metody. W badaniach wykorzystano miody manuka o zawartości MGO 100+ i MGO 400+ oraz wodny roztwór jego bioaktywnego składnika – metyloglioksalu (MGO). Oceniono aktywność przeciwbakteryjną i przeciwgrzybiczą miodów oraz MGO, a wyniki przedstawiono w postaci minimalnego stężenia hamującego wzrost szczepów (MIC), które następnie przeliczono na odpowiadające im jednostki antybiotyczne (JA/g). Porównano również aktywność przeciwrodnikową badanych miodów i MGO.

Wyniki. Badane miody manuka wykazywały zróżnicowaną aktywność przeciwbakteryjną w stosunku do szczepów bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych, przy czym miód MGO 400+ charakteryzował się odpowiednio wyższą aktywnością, szczególnie wobec bakterii Gram-ujemnych. Miód MGO 400+ wykazywał również nieznacznie wyższą aktywność przeciwgrzybiczą w porównaniu z miodem o niższej zawartości MGO. Aktywność przeciwbakteryjna i przeciwgrzybicza MGO była zdecydowanie wyższa w porównaniu z aktywnością miodów manuka. Zarówno miody, jak i MGO wykazywały umiarkowaną aktywność przeciworodnikową.

Wnioski. Otrzymane wyniki wskazują, że miody manuka wykazują aktywność przeciwbakteryjną oraz przeciwgrzybiczą, a MGO jest jednym z czynników odpowiadających za ich ogólną aktywność biologiczną. Zawartość MGO w miodach manuka wpływa na jego aktywność przeciwbakteryjną, przeciwgrzybiczą i przeciworodnikową.

Słowa kluczowe: miód manuka, aktywność przeciwdrobnoustrojowa, aktywność przeciworodnikowa, metyloglioksal

Wprowadzenie

Miody ze względu na oryginalne walory organoleptyczne oraz właściwości biologiczne znajdują wiele zastosowań w różnych gałęziach przemysłu i medycynie naturalnej, w szczególności w apiterapii. Na polskim rynku coraz większą popularnością cieszy się miód manuka wytwarzany przez pszczoły z nektaru krzewu manuka (*Leptospermum scoparium* J.R.Forst. & G.Forst.) rosnącego na terenach Nowej Zelandii i Australii (1, 2). Według danych literaturowych miód manuka charakteryzuje się aktywnością przeciwdrobnoustrojową, przeciwutleniającą oraz przeciwnowotworową (1). Badania wykazały skuteczność miodu manuka wobec licznych szczepów bakterii, w tym *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* (w tym szczepów opornych na metycylinę – MRSA, ang. *methicillin-resistant Staphylococcus aureus*), *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Helicobacter pylori*, *Klebsiella pneumoniae*, *Campylobacter jejuni*, *Bacillus subtilis* czy *Listeria monocytogenes* (1, 3-8). Działanie bakterio-bójcze miodu manuka pozwala na jego wykorzystanie terapeutyczne, np. w celu przyspieszenia gojenia się ran spowodowanych oparzeniami skóry czy owrzodzeniami, zmniejszenia stanu zapalnego śluzówki przewodu pokarmowego czy jako środek pomocny w leczeniu mukowiscydozy (6, 9-11).

Aktywność biologiczna miodu manuka związana jest z jego składem chemicznym. Dane literaturowe wskazują, że jest on źródłem związków bioaktywnych, takich jak kwasy fenolowe (np. chlorogenowy, kawowy, izoferulowy, kumarowy, galusowy czy syringinowy), oraz flawonoidów, w tym kwercetyny, luteoliny, pinocembryny, kemferolu, chryzyny, pinobanksyny, apigeniny czy galanginy (1, 12, 13). Jednym z kluczowych związków odpowiadających za działanie przeciwdrobnoustrojowe miodu manuka jest metyloglioksal (MGO) (14). Jest to produkt pośredni przemian metabolicznych trójwęglowych pochodnych cukrów prostych, takich jak fosforan dihydroacetonu i 3-fosforan aldehydu glicerynowego (2), który hamuje rozwój drobnoustrojów poprzez inaktywację białek w wyniku

ich sieciowania (7). W miodzie manuka występują również inne związki bioaktywne, m.in.: glioksal, 5-(hydroksymetylo)-furfural (HMF), ester metylowy kwasu syringowego, kwas kojowy oraz leptosperyna, której stężenie jest dodatnio skorelowane z jego aktywnością przeciwbakteryjną (1, 7, 15, 16). Miód manuka wykazuje również właściwości przeciwutleniające potwierdzone m.in. poprzez zdolność zmiatania kationorodnika DPPH czy zdolność redukcji jonów żelaza (II) (1, 6, 17, 18). Liczne dane literaturowe wskazują, że skład chemiczny miodu manuka odpowiada za jego aktywność biologiczną, w tym przeciwdrobnoustrojową i przeciworodnikową, co sprawia, że znajduje się on w obszarze zainteresowań naukowców i cieszy się rosnącym zainteresowaniem konsumentów, również na polskim rynku.

Cel pracy

Celem pracy było określenie aktywności przeciwdrobnoustrojowej oraz przeciworodnikowej miodu manuka oraz jego bioaktywnego składnika – MGO.

Materiał i metody

Materiał badawczy

W badaniach wykorzystano miód manuka Manuka Honey MGO 100+ (100 mg MGO/kg miodu) oraz MGO 400+ (400 mg MGO/kg miodu) (Manuka Health, New Zealand) przekazany przez Propharma Sp. z o.o. oraz 40% wodny roztwór MGO zakupiony w Sigma Aldrich, nr katalogowy NO262-25 ml.

Aktywność przeciwbakteryjna

Aktywność miodów manuka oraz wodnego roztworu MGO oceniono względem szczepów bakterii tlenowych: *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538 P), *Staphylococcus epidermidis* (S3), *Enterococcus faecalis* (8040/1), *Enterococcus faecium* (34B/8), *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Enterobacter agglomerans* (8A/M), *Enterobacter cloacae* (382/4), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 16903) i *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), standardowych oraz ze środowiska klinicznego.

W badaniach wykorzystano metodę rozcieńczeń seryjnych miodu w podłożu płynnym Tryptone Soya Broth (Oxoid CM0 129). Do rzędu probówek zawierających roztwory miodu manuka (w ilości 1 ml) o stężeniach 15,62; 31,25; 62,5; 125,0; 250,0 i 500,0 mg/ml dodawano po 0,1 ml hodowli badanych szczepów bakterii tlenowych zawierającej 10^4 - 10^5 CFU/ml (ang. *colony forming unit* – CFU). Po 18 godz. inkubacji próbek w temperaturze 37°C odczytywano najmniejsze stężenia miodu hamujące wzrost badanych szczepów (ang. *minimal inhibitory concentration* – MIC), które następnie przeliczano na odpowiadające im jednostki antybiotyczne (JA/g). Im wyższa wartość jednostki antybiotycznej, tym silniejsze działanie. Natomiast 40% wodny roztwór MGO rozcieńczano w podłożu stałym Tryptone Soya Agar (Oxoid CM0131B) w stężeniach: 0,005; 0,05; 0,5 i 5,0 mg/ml. Na powierzchni płytek po ich zestaleniu posiewano rozcieńczone hodowle bakterii tlenowych o zawartości 10^4 - 10^5 CFU/ml. MIC odczytywano po 48 godz. inkubacji próbek w temperaturze 37°C.

Aktywność przeciwrzybicza

Aktywność miodów manuka oraz wodnego roztworu MGO oceniono względem szczepów grzybów drożdżopodobnych z rodzaju *Candida*: *C. albicans* (PCM 1409 PZH), *C. parapsilosis* (CNCTC 8/44/17), *C. krusei* (S220) i *C. candidum* (25/OWG), standardowych oraz ze środowiska klinicznego. W badaniach wykorzystano metodę rozcieńczeń seryjnych miodu w podłożu płynnym Sabouraud Dextrose Liquid Medium (Oxoid CM0 147). Do rzędu probówek zawierających po 1 ml roztworów miodu manuka o stężeniach 15,62; 31,25; 62,5; 125,0; 250,0 i 500,0 mg/ml dodawano po 0,1 ml hodowli badanych szczepów grzybów drożdżopodobnych zawierających 10^4 - 10^5 CFU/ml. Po 48 godz. inkubacji próbek w temperaturze 37°C odczytywano najmniejsze stężenia miodu hamujące wzrost badanych szczepów (MIC), które następnie przeliczano na odpowiadające im jednostki antybiotyczne (JA/g). Natomiast 40% wodny roztwór MGO rozcieńczano w podłożu stałym Sabouraud Dextrose Agar (Oxoid CM0041) w stężeniach: 5,0; 0,5; 0,05 i 0,005 mg/ml. Na powierzchni płytek po ich zestaleniu posiewano rozcieńczone hodowle grzybów drożdżopodobnych o zawartości 10^4 - 10^5 CFU/ml. MIC odczytywano po 48 godz. inkubacji próbek w temperaturze 37°C.

Zdolność zmiatania kationorodnika

2,2-difenylo-1-pikrylohydrazylu (DPPH)

Aktywność przeciwutleniającą miodów manuka i wodnego roztworu MGO określono poprzez ich zdolność do zmiatania kationorodnika

2,2-difenylo-1-pikrylohydrazylu (DPPH) (Sigma-Aldrich). Do 0,2 ml roztworu miodu i MGO o stężeniu 0,1 mg/ml dodano 0,2 ml etanolowego roztworu 0,1 mM DPPH i inkubowano przez 30 min w temperaturze pokojowej bez dostępu światła. Po wytrząśnięciu prób mierzone absorbancję roztworów badawczych z wykorzystaniem spektrofotometru BioMate 160 UV-Vis 190-1100 nm (Thermo Scientific) przy długości fali $\lambda = 517$ nm. Jako związek referencyjny zastosowano standardowy antyoksydant – Trolox® (Sigma-Aldrich 238813). Na podstawie uzyskanych wartości absorbancji (A) obliczono aktywność przeciwdrobnoustrojową (A_p) miodów oraz roztworu MGO, stosując następujące równanie:

$$A_p (\%) = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%$$

gdzie: A_0 – absorbancja próbki kontrolnej, A_1 – absorbancja próbki zawierającej roztwór miodu lub MGO.

Analiza aktywności przeciwdrobnoustrojowej miodów oraz roztworu MGO w teście z kationorodnikiem DPPH została przeprowadzona trzykrotnie, a przedstawione wyniki są wartością średnią z tych oznaczeń.

Wyniki i ich omówienie

W pierwszym etapie badań określono aktywność przeciwbakteryjną miodu manuka (tab. 1) oraz wodnego roztworu MGO (tab. 2) względem bakterii tlenowych, zarówno Gram-dodatnich, jak i Gram-ujemnych.

Badane roztwory miodu manuka MGO 100+ oraz MGO 400+ wykazywały zróżnicowaną aktywność przeciwbakteryjną w stosunku do szczepów bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych. Miód manuka MGO 100+ charakteryzował się aktywnością w zakresie stężeń od 125 mg/ml do 250 mg/ml, które w przeliczeniu na jednostki antybiotyczne wynosiły odpowiednio 8-4 JA/g. Natomiast miód manuka MGO 400+ był bardziej aktywny w porównaniu z miodem MGO 100+, zwłaszcza w przypadku bakterii Gram-ujemnych (poza *P. aeruginosa*). Stężenia hamujące wzrost badanych szczepów bakterii przez miód manuka MGO 400+ mieściły się w zakresie od 62,5 mg/ml do 250 mg/ml, a po przeliczeniu na jednostki antybiotyczne były to wartości wynoszące odpowiednio 16-4 JA/g. Najsilniejsze działanie badanych miodów manuka w grupie bakterii Gram-dodatnich odnotowano dla szczepu standardowego *S. aureus* (8-16 JA/g). Spośród bakterii Gram-ujemnych najbardziej wrażliwa na miód manuka okazała się pałeczka *E. agglomerans* (8-16 JA/g).

Wyniki przedstawione w tabeli 2 wskazują, że wodny roztwór MGO działał przeciwbakteryjnie w stosunku do szczepów bakterii Gram-dodatnich

Tab. 1. Działanie miodu manuka MGO 100+ i MGO 400+ na bakterie tlenowe

Badane szczepy	Stężenie miodu hamujące wzrost szczepu (MIC, mg/ml)		Jednostki antybiotyczne (JA/g)	
	MGO 100+	MGO 400+	MGO 100+	MGO 400+
Bakterie Gram-dodatnie				
<i>S. aureus</i>	125	62,5	8	16
<i>S. epidermidis</i>	125	125	8	8
<i>E. faecalis</i>	250	250	4	4
<i>E. faecium</i>	250	250	4	4
Bakterie Gram-ujemne				
<i>E. coli</i>	250	125	4	8
<i>E. agglomerans</i>	125	62,5	8	16
<i>E. cloacae</i>	250	125	4	8
<i>K. pneumoniae</i>	250	125	4	8
<i>P. aeruginosa</i>	250	250	4	4

Tab. 2. Działanie metylogliksalu na bakterie tlenowe

Badane szczepy	Metylogliksal (MGO)	
	Stężenie MGO hamujące wzrost szczepu (MIC, mg/ml)	Jednostki antybiotyczne (JA/g)
Bakterie Gram-dodatnie		
<i>S. aureus</i>	0,5	2000
<i>S. epidermidis</i>	0,5	2000
<i>E. faecalis</i>	5,0	200
<i>E. faecium</i>	0,5	2000
Bakterie Gram-ujemne		
<i>E. coli</i>	0,5	2000
<i>E. agglomerans</i>	0,05	20 000
<i>E. cloacae</i>	0,5	2000
<i>K. pneumoniae</i>	0,5	2000
<i>P. aeruginosa</i>	0,5	2000

i Gram-ujemnych w granicach stężeń od 0,05 do 5,0 mg/ml, które odpowiadały jednostkom antybiotycznym w zakresie 20 000-200 JA/g. Były to wartości stężeń niższe, tj. odpowiadające wyższej aktywności tego składnika w porównaniu ze stężeniami hamującymi wzrost tych szczepów uzyskanych dla miodów manuka MGO 100+ i MGO 400+. *E. agglomerans* był szczepem bakteryjnym najbardziej wrażliwym na działanie MGO, a do zahamowania jego wzrostu wymagane było stężenie MGO wynoszące tylko 0,05 mg/ml (20 000 JA/g), natomiast szczep *E. faecalis* charakteryzował się najniższą wrażliwością na działanie MGO (MIC = 5,0 mg/ml, co odpowiada 200 JA/g).

W badaniach oceniono również aktywność przeciwrzybiczą miodów manuka (tab. 3) oraz MGO (tab. 4) względem szczepów grzybów drożdżopodobnych.

Miód manuka MGO 100+ charakteryzował się aktywnością w stosunku do wszystkich testowych szczepów grzybów drożdżopodobnych w stężeniu

250,0 mg/ml, co w przeliczeniu na jednostki antybiotyczne odpowiadało wartości 4 JA/g. Natomiast miód manuka MGO 400+ hamował wzrost badanych drożdżaków przy stężeniach w zakresie 62,5-250,0 mg/ml, co przekładało się na jednostki antybiotyczne na poziomie 4-16 JA/g. W porównaniu z miodem manuka MGO 100+ miód o wyższej zawartości MGO działał odpowiednio silniej w stosunku do grzybów drożdżopodobnych – *C. krusei* (MIC = 62,5 mg/ml, 16 JA/g) oraz *G. candidum* (MIC = 125 mg/ml, 8 JA/g).

Z kolei aktywność przeciwrzybicza MGO mieściła się w zakresie stężeń od 0,5 do 5,0 mg/ml (2000-200 JA/g), co wskazuje na zdecydowanie wyższą aktywność przeciwrzybiczą MGO w porównaniu z aktywnością miodów manuka. Najbardziej wrażliwym szczepem wobec wodnego roztworu MGO był szczep *C. albicans* (MIC = 0,5 mg/ml, 2000 JA/g).

Przedstawione wyniki aktywności przeciwbakteryjnej oraz przeciwrzybiczej miodów manuka MGO

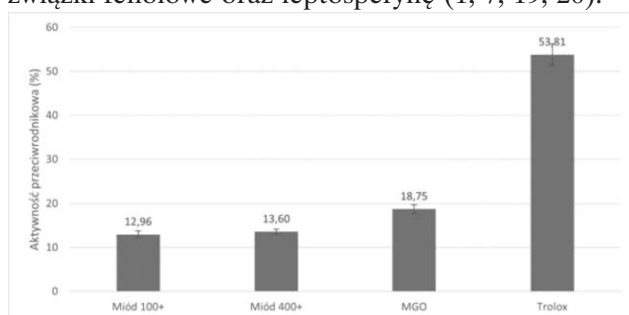
Tab. 3. Działanie miodu manuka MGO 100+ i MGO 400+ na grzyby drożdżopodobne

Badane szczepy	Stężenie miodu hamujące wzrost szczepu (MIC, mg/ml)		Jednostki antybiotyczne (JA/g)	
	MGO 100+	MGO 400+	MGO 100+	MGO 400+
<i>C. albicans</i>	250	250	4	4
<i>C. parapsilosis</i>	250	250	4	4
<i>C. krusei</i>	250	62,5	4	16
<i>G. candidum</i>	250	125	4	8

Tab. 4. Działanie MGO na grzyby drożdżopodobne

Badane szczepy	Metylogliksal (MGO)	
	Stężenie MGO hamujące wzrost szczepu (MIC, mg/ml)	Jednostki antybiotyczne (JA/g)
<i>C. albicans</i>	0,5	2000
<i>C. parapsilosis</i>	5,0	200
<i>C. krusei</i>	5,0	200
<i>G. candidum</i>	5,0	200

100+ i MGO 400+, a także wodnego roztworu MGO (związku, który występuje w badanych miodach) wskazują, że składnik ten wykazuje silniejszą aktywność względem badanych szczepów bakterii tlenowych oraz grzybów drożdżopodobnych w porównaniu z analizowanymi miodami manuka. Przeprowadzone badania dowodzą, że MGO jest bioaktywnym składnikiem miodów wykazującym zdolność hamowania rozwoju bakterii i grzybów, a jego nawet nieznaczny udział (10-40 mg/100 g miodu), odpowiadający zawartości procentowej tego składnika w miodzie manuka wynoszącej 0,01-0,04%, może przyczynić się do podwyższenia jego aktywności antybiotycznej. Zgodnie z danymi literaturowymi mechanizm działania przeciwdrobnoustrojowego miodu manuka jest kompleksowy i związany z synergicznym działaniem kilku czynników, takich jak: wysokie ciśnienie osmotyczne wynikające z wysokiej zawartości węglowodanów, niskie pH spowodowane zawartością kwasów organicznych, obecność nadtlenu wodoru powstającego w wyniku reakcji enzymatycznej, a także zawartość związków bioaktywnych, wśród których w przypadku miodu manuka należy wymienić przede wszystkim MGO, związki fenolowe oraz leptosperyne (1, 7, 19, 20).

**Ryc. 1.** Aktywność przeciwrodnikowa miodów manuka i metylogliksalu

W drugim etapie badań oceniono właściwości przeciwutleniające miodów manuka oraz MGO poprzez wyznaczenie ich aktywności przeciwrodnikowej, a wyniki przedstawiono na rycinie 1.

Zarówno miody manuka, jak i roztwór MGO wykazywały znacznie niższą aktywność przeciwrodnikową w porównaniu z Troloxem zastosowanym jako referencyjny antyoksydant. Miód manuka MGO 400+ wykazywał nieco wyższą aktywność w porównaniu z miodem MGO 100+, jednak znacznie niższą niż MGO. Aktywność przeciwutleniająca miodów manuka została wcześniej potwierdzona w danych literaturowych (6, 17, 18) i związana jest głównie z obecnością związków flawonoidowych w miodach (16). Jednocześnie dane literaturowe potwierdzają również niewielką różnicę w aktywności przeciwutleniającej miodów w zależności od zawartości MGO (21).

Wnioski

Miody manuka MGO 100+ wykazywały działanie przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze w zakresie stężeń od 125 do 250 mg/ml, natomiast miody o zawartości MGO 400+ charakteryzowały się odpowiednio wyższą aktywnością, której wartości mieściły się w zakresie stężeń od 62,5 do 250 mg/ml.

Roztwór MGO hamował rozwój szczepów bakterii w stężeniach od 0,05 do 5,0 mg/ml oraz szczepów grzybów w zakresie stężeń od 0,5 do 5,0 mg/ml.

Zarówno badane miody, jak i roztwór MGO wykazywały umiarkowaną aktywność przeciwrodnikową. Wyższa zdolność zmiatania kationorodnika DPPH przez miody manuka związana jest z obecnością licznych związków bioaktywnych.

MGO jest jedną z głównych substancji odpowiedzialnych za całkowitą aktywność biologiczną miodu

manuka, jednak działanie przeciwdrobnoustrojowe miodu jest wynikiem synergii wielu jego bioaktywnych składowych. Otrzymane wyniki wskazują, że zawartość MGO w miodach manuka podwyższa ich aktywność

przeciwbakteryjną, przeciwgrzybiczą i przeciwdrobnoustrojową, oraz sugerują, że spożywanie miodu manuka może mieć korzystny wpływ na zapobieganie i hamowanie rozwoju chorób wywoływanych przez drobnoustroje.

Piśmiennictwo

1. Alvarez-Suarez JM, Gasparrini M, Forbes-Hernández TY i wsp. The composition and biological activity of honey: a focus on Manuka honey. *Foods* 2014; 3:420-32.
2. Kędzia B, Hołderna-Kędzia E. Występowanie metyloglioksalu w miodzie manuka i jego oddziaływanie na organizm człowieka. *Post Fitoter* 2015; 3:172-6.
3. Sherlock O, Dolan A, Athman R i wsp. Comparison of the antimicrobial activity of Ulmo honey from Chile and manuka honey against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *BMC Complement Altern Med* 2010; 10:47.
4. Henriques AF, Jenkins R, Burton NF i wsp. The effect of manuka honey on the structure of *Pseudomonas aeruginosa*. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 2011; 30:167-71.
5. Henriques AF, Jenkins R, Burton NF i wsp. The intracellular effects of manuka honey on *Staphylococcus aureus*. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 2010; 29:45-50.
6. Gośliński M, Nowak D, Kłębukowska L. Antioxidant properties and antimicrobial activity of manuka honey versus Polish honeys. *J Food Sci Technol* 2020; 57:1269-77.
7. Roberts AEL, Brown HL, Jenkins RE. On the antibacterial effects of manuka honey: mechanistic insights. *Res Rep Biol* 2015; 6:215-24.
8. Carter DA, Blair SE, Cokcetin NN i wsp. Therapeutic manuka honey: no longer so alternative. *Front Microbiol* 2016; 7:569.
9. Kędzia B, Hołderna-Kędzia E. Nowe możliwości wykorzystania miodu manuka do leczenia chorób skóry i błon śluzowych. *Post Fitoter* 2017; 2:119-25.
10. Kędzia B, Hołderna-Kędzia E. Aktywność antybiotyczna miodu manuka i jego działanie na drobnoustroje chorobotwórcze dla człowieka. *Post Fitoter* 2015; 4:258-62.
11. Kędzia B, Hołderna-Kędzia E. Perspektywy wykorzystania miodu manuka w leczeniu chorób wewnętrznych. *Post Fitoter* 2016; 1:55-8.
12. Deng J, Liu R, Lu Q i wsp. Biochemical properties, antibacterial and cellular antioxidant activities of buckwheat honey in comparison to manuka honey. *Food Chem* 2018; 252:243-9.
13. Oelschlaegel S, Gruner M, Wang PN i wsp. Isolation and identification of anthranilic acid derivatives as biomarkers of manuka honey. *J Agric Food Chem* 2012; 60:7229-37.
14. Stephens JM, Schlothauer RC, Morris BD i wsp. Phenolic compounds and methylglyoxal in some New Zealand manuka and kanuka honeys. *Food Chem* 2010; 120:78-86.
15. Ahmed S, Othman NH. Review of the medicinal effects of tualang honey and a comparison with manuka honey. *Malays J Med Sci* 2013; 20:6-13.
16. Patel S, Cichello S. Manuka honey: an emerging natural food with medicinal use. *Nat Prod Bioprospect* 2013; 3:171-80.
17. Moniruzzaman M, Sulaiman SA, Khalil MI i wsp. Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of sourwood and other Malaysian honeys: a comparison with manuka honey. *Chem Cent J* 2013; 7:138.
18. Inoue K, Murayama S, Seshimo F i wsp. Identification of phenolic compound in manuka honey as specific superoxide anion radical scavenger using electron spin resonance (ESR) and liquid chromatography with coulometric array detection. *J Sci Food Agric* 2005; 85:872-8.
19. Kędzia B, Hołderna-Kędzia E. Współczesne poglądy na mechanizm przeciwdrobnoustrojowego działania miodu. *Post Fitoter* 2017; 18:290-7.
20. Johnston M, McBride M, Dahiya D i wsp. Antibacterial activity of Manuka honey and its components: An overview. *AIMS Microbiol* 2018; 4:655-64.
21. Wilczyńska A. Skład chemiczny i właściwości antyoksydacyjne miodu manuka. *Probl Hig Epidemiol* 2013; 94:873-5.

Konflikt interesów

Conflict of interest

Brak konfliktu interesów
None

otrzymano/received: 09.01.2025

zaakceptowano/accepted: 30.01.2025

Adres/address:

*mgr Joanna Młodziejewska
Katedra Chemii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 75, 60-625 Poznań
tel.: +48 (61) 848-78-24
e-mail: joanna.mlodziejewska@up.poznan.pl
wichrowska@pbs.edu.pl